



Ville Leinonen

ERISTEMATERIAALIEN YLIKÄYTÖN VÄHENTÄMINEN KAAPELIN VALMISTUKSESSA

**ERISTEMATERIAALIEN YLIKÄYTÖN VÄHENTÄMINEN
KAAPELIN VALMISTUKSESSA**

Ville Leinonen
Opinnäytetyö
Kevät 2018
Konetekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Konetekniikan tutkinto-ohjelma, tuotantotekniikka

Tekijä: Ville Leinonen

Opinnäytetyön nimi: Eristemateriaalien ylikäytön vähentäminen kaapelin valmistuksessa

Työn ohjaaja: Eero Korhonen

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: kevät 2018

Sivumäärä: 45 + 3 liitettä

Opinnäytetyön tavoitteena oli vähentää sähkökaapeleiden valmistuksessa käytettävien eristemateriaalien ylikäyttöä ja tuoda tätä kautta yritykselle säästöjä. Lisäksi työssä luotiin pohjaa käytännölle, jossa eristemateriaalien kulutusta seurataan nykyistä tarkemmin mahdollisia toimenpiteitä varten. Osa-aiheena työssä otettiin käyttöön mittalaite, jolla pyritään vähentämään materiaalikustannuksia eristystyövaiheessa.

Eristemateriaalien ylikäyttö edustaa ylimääräistä materiaalikustannusta, josta asiakas ei ole valmis maksamaan. Eristemateriaalien ylikäyttö muodostuu tuoterakenteisiin nähden liian paksuksi valmistetuista kaapelin eristeistä. Opinnäytetyössä eristemateriaalien ylikäyttöä käsitellään laadun näkökulmista, jossa käytettyinä menetelminä ovat Six Sigma ja Taguchin laadun optimointimenetelmä. Kyseiset menetelmät sopivat opinnäytetyössä tutkitun ongelman ratkaisemiseen ja mahdollistivat tuloksien saavuttamisen.

Kaapeleiden seinämävahvuuksia mittaavalle mittalaitteelle suoritettiin R&R-testi, jonka tarkoituksena oli todentaa mittaustuloksien luotettavuus. Testin perusteella todettiin, että mittalaite toimii luotettavasti ja mittausprosessi on yhtenäinen.

Työn tuloksena saavutettiin merkittäviä säästöjä materiaalikustannuksissa. Säästöt saavutettiin valmistamalla työhön rajatut tuotteet mahdollisimman tarkasti tuoterakenteiden mukaisiin seinämävahvuuksiin. Työssä valmistettiin Excel-pohjaista työkalua eristemateriaalien ylikulutustilanteiden seurantaan ja luotiin lähtökohdat tehokkaammalle tuotannolle materiaalikustannuksien osalta.

Saavutettu kehityssuunta materiaalikustannuksissa ja tuloksien ylläpitäminen vaativat toimenpiteitä ja resursseja. Lisäämällä valvontaa ja suorittamalla tuotantolinja- ja tuoteperhekohtaisia projekteja materiaalikustannuksien vähentämiseksi voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä.

Asiasanat: laatu, Six Sigma, Taguchi, eristemateriaalit, ylikäyttö

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Degree programme in Mechanical Engineering, Production Technology

Author: Ville Leinonen

Title of thesis: Reducing Overuse of Sheathing Material in Electrical Cable Production

Supervisor: Eero Korhonen

Term and year when the thesis was submitted: spring 2018

Pages: 45 + 3 appendices

The subject of the thesis was to reduce the overuse of the sheathing materials which are used in the production of electric cables and in that way to bring savings to the company. The purpose of the work was also to provide the basis which could be used to follow the material consumption in more detail in practice. Part subject at the thesis was to install measuring device which can be used to reduce material costs at the insulation sheathing stage process.

The overuse of sheathing materials presents an extra material cost of which a customer is not ready to pay. In the thesis the overuse of materials is dealt with from the quality's point of view. The methods used were Six Sigma and the Taguchi quality optimization method. An R&R-test was performed to the measuring unit which measures wall thicknesses of the cables. The purpose of the test was to verify the reliability of the measurement results.

Significant savings were achieved in material costs as a result of the work. A functional and easy-to-use Excel-based tool for monitoring the overuse of the materials and the starting points for the continuity of the project were also made during the work.

The achieved trend in material costs and the achieved results of the work require actions and resources. Significant savings can be achieved by completing the production line and product specific-projects to reduce material costs.

Keywords: quality, Six Sigma, Taguchi, insulation materials, overuse

ALKULAUSE

Opinnäytetyö suoritettiin Prysmian Group Finland Oy:n toimeksiannosta syksyn 2017 ja kevään 2018 aikana. Työn tavoitteena oli vähentää tuotannossa käytettyjen eristemateriaalien ylikulutusta ja luoda pohjaa jatkuvan kehittämisen käytännölle, jossa eristemateriaalien kulutusta pyritään vähentämään.

Haluan kiittää erityisesti Prysmian Group Finland Oy:n puolelta ohjaajana toiminutta tuotantopäällikkö Oskari Ylimaulaa mielenkiintoisesta ja haastavasta työstä sekä erittäin aktiivisesta työn ohjaamisesta. Kiitän myös yrityksen muuta henkilökuntaa avusta työn aikana ja koulun puolelta ohjaajana toiminutta yliopettaja Eero Korhosta.

Haluan myös kiittää vaimoani ja ystäviäni kannustamisesta työn varrella.

Oulussa 2.4.2018

Ville Leinonen

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
ALKULAUSE	5
SISÄLLYS	6
1 JOHDANTO	8
2 PRYSMIAN GROUP FINLAND OY	9
3 SÄHKÖKAAPELIN RAKENNE	10
3.1 Sähkökaapelin rakenneosat	10
3.2 Halogeenittomuus ja CPR	11
4 LAADUN MERKITYS	13
4.1 Laadun määrittäminen	13
4.2 Laadun kustannukset	14
4.3 Laadun optimointi	15
4.4 Taguchin-menetelmä	16
4.4.1 Parametrisuunnittelu	16
4.4.2 Toleranssisuunnittelu	17
4.5 Six Sigma	18
4.6 Ongelmanratkaisumalli DMAIC	19
4.7 Prosessin mittaaminen	20
4.8 GAGE R&R	21
5 YLIKÄYTÖN ANALYSOINTI	23
5.1 Lähtötilanneanalyysi	23
5.2 Seinämävahvuuksiin vaikuttavat tekijät	23
5.3 Ylikäytön laskenta	25
5.4 Täytevaipan ylivahvuus	25
5.5 Keskeisyys	27
6 ACM KSM -MITTALAITE	28
6.1 Mittausprosessi	29
6.2 Mittauksen valmistelut	29
6.3 Näytteen leikkaaminen	30
6.4 Mittadatan tallentuminen	30

6.5 Mittadatitiedoston toiminta	31
6.6 Ylikulutuksen seurantatyökalu	32
7 ZUMBACH ODEX® -MITTALAITE	33
7.1 Toimintaperiaate	34
7.2 Käyttöönotto	35
8 HAVAINNOT JA KEHITYSMAHDOLLISUUDET	36
8.1 Päivittäisjohtaminen ja materiaalien ylikäyttö	36
8.2 Ylikulutus varastosaldoissa	37
8.3 Ehdotus projektin jatkumahdollisuuksista	37
9 OPINNÄYTETYÖN AIKANA SAAVUTETUT TULOKSET	39
9.1 R&R-testi	39
9.2 Ylikäytön muutos opinnäytetyön aikana	40
10 YHTEENVETO	42
LÄHTEET	44
LIITTEET	
Liite 1 Syy-seurausanalyysi	
Liite 2 Prosessi näytteiden mittauksen ja tuotantolinjan välillä	
Liite 3 R&R-testi	

1 JOHDANTO

Viime vuosina runsaasti laajentuneen tuotevalikoiman, halogeenittomien eristemateriaalien yleistymisen ja muuttuneiden kaapeli- ja rakennusteollisuuden säännösten myötä on tuotannossa havaittu uusia haasteita materiaalikustannuksissa ja tehokkuudessa. Halogeenittomat eristemateriaalit ovat yleistyneet niiden paloturvallisuuden ansiosta, mutta ovat huomattavasti arvokkaampia kuin perinteiset eristemateriaalit.

Opinnäytetyön tavoitteena on vähentää tuotannossa käytettävien eristemateriaalien ylikulutusta ja tuoda tätä kautta yritykselle säästöjä. Työssä on luotu pohjaa käytännölle, jossa eristemateriaalien kulutusta seurataan tarkemmin mahdollisia toimenpiteitä varten. Lisäksi työhön sisällytettiin käyttöönotto Zumbach Odex® -mittalaitteelle, jonka avulla voidaan vähentää materiaalikustannuksia eristystyövaiheessa.

Opinnäytetyö on rajattu volyymiltaan suurimpien tuotteiden eristemateriaalien ylikulutuksen vähentämiseen ja käytössä olevan ACM KSM -mittalaitteen muodostaman datan hyödyntämiseen. Työssä on etsitty konkreettisia keinoja eristemateriaalikustannuksien vähentämiseen ja suunniteltu toimintatapoja, joiden avulla eristemateriaalien ylikäytöstä muodostuvia kustannuksia voidaan vähentää.

2 PRYSMIAN GROUP FINLAND OY

Prysmian Group on kehittyneiden energia- ja tietoverkkokaapeleiden ja -ratkaisujen markkinajohtaja. Konsernin liikevaihto oli vuonna 2016 noin 7,5 miljardia euroa. Sillä on 50 maassa 82 yhtiötä sekä 17 tutkimus- ja kehityskeskusta sekä palveluksessaan noin 21 000 henkilöä. (1, linkit Prysmian Group Suomessa -> Prysmian Group Suomessa.)

Suomessa yritys valmistaa kaapeleita Oulun ja Pikkalan tehtailla. Liikevaihto vuonna 2016 oli yli 300 miljoonaa euroa ja yrityksen palveluksessa on yli 500 henkilöä. (1, linkit Prysmian Group Suomessa -> Prysmian Group Suomessa.)

Oulussa Prysmian Group Finland valmistaa johdinten lisäksi asennusjohtoja- ja kaapeleita, erikoiskaapeleita, matkapuhelinverkon kaapeleita ja -tarvikkeita sekä valokaapelitarvikkeita. Pikkalassa sijaitsee Prysmian Groupin merikaapeleihin erikoistunut osaamiskeskus. Merikaapeleiden ohella tehtaassa valmistetaan erikoiskaapeleita, pien-, keski- ja suurjännitekaapeleita sekä johtimia. (1, linkit Prysmian Group Suomessa -> Prysmian Group Suomessa.)

3 SÄHKÖKAAPELIN RAKENNE

Tässä luvussa käsitellään sähkökaapeleiden rakenteita yleisellä tasolla. Luvussa esitetään, mistä komponenteista sähkökaapelit muodostuvat ja millaisia vaatimuksia kaapeleille asetetaan.

3.1 Sähkökaapelin rakenneosat

Sähkökaapelin rakenne muodostuu haluttujen ominaisuuksien pohjalta, jotka voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen. Osa-alueita ovat sähköiset ominaisuudet, ympäristön asettamat ominaisuudet ja mekaaniset ominaisuudet. Kaapelin rakenteisiin vaikuttavat myös standardit, direktiivit sekä asiakkaan ja valmistajan spesifikaatiot. (2, s. 4 - 6.)

Sähkökaapelin tavanomaisimmat rakenneosat ovat johdin, johtimen eriste, täytevaippa ja ulkovaippa (kuva 1). Ulkovaipan materiaalilla ja seinämän vahvuudella määritellään esimerkiksi kaapelin taipuisuus ja mekaaninen ja sähköinen kestävyys, käyttölämpötila sekä UV-kestoisuus. Täytevaipan tarkoituksena on tehdä kaapelista pyöreää ja joissain tilanteissa parantaa palo-ominaisuuksia. (2, s. 9 - 14.)



KUVA 1. Sähkökaapelin tavanomaiset rakenneosat (2, s. 9)

Sähkökaapeleiden muita rakenneosia ovat

- palmikointi, joka toimii taipuisien kaapeleiden häiriö- ja mekaanisena suo-
jana

- al/cu-laminaatti, joka on mekaaninen suoja ja suoja sähköisiä häiriöitä vastaan
- paljas maadoituslanka kaapelin metalliosien maadoitusta varten
- sidosnauhat kertauksen sidontaan
- täytenarut, joilla saadaan aikaan kaapelin oikea muoto
- palonsuojanauha, joka toimii kaapelin palonsuojana. (2, s. 9.)

Johtimet koostuvat sähköä johtavasta materiaalista, useimmiten kuparista, tinnatusta kuparista tai alumiinista. Sähköä johtavaa materiaalia ympäröi eriste. Yleisimpinä eristemateriaaleina käytetään PVC- ja PEX-muoveja (kuva 2). Eristemateriaalilla ja eristeen vahvuudella määritellään esimerkiksi jännitekestoisuus, mekaaninen kestävyys, käyttölämpötila ja taivutettavuus. (2, s. 11.)



KUVA 2. Eristetty johdin (3, s. 1)

3.2 Halogeenittomuus ja CPR

Halogeeniton sähkökaapeli ei sisällä halogeeneja, kuten klooria tai fluoria. Halogeenillisissä PVC-kaapeleissa vapautuu palossa kloorivetyä, josta muodostuu suolahappoa ilmankosteuden kanssa. Vapautuva suolahappo on myrkyllinen kaasu ja aiheuttaa korroosiota monille laitteille ja materiaaleille. (2, s. 16.)

EU:n rakennustuoteasetus CPR määrittää kaapeleiden paloluokituksen suoritus- tasovaatimukset. Se koskee kaikkia rakennuskohteisiin kiinteästi asennettavia energia- ja tietoverkkokaapeleita. Kaikkia EU-maita sitova CPR määrittelee vaatimukset rakennuksiin kiinteästi asennettavien sähkö- ja tietoliikennekaapelien palokäyttäytymiselle ja vaarallisille aineille. CPR-luokitusjärjestelmä varmistaa, että kaapelit täyttävät niille asetetut paloturvallisuuden vaatimukset. (4.)

Rakennustuoteasetus CPR:n myötä on yrityksessä siirrytty käyttämään yhä enemmän halogeenittomia eristemateriaaleja. Halogeenittomien eristemateriaalien käyttö tuotannossa ei ole vielä yhtä tehokkaalla tasolla kuin kymmeniä vuosia käytössä olleiden PVC-eristemateriaalien. Tämä luo pohjaa opinnäytetyön tarpeelle ja materiaalikustannuksien vähentämiselle.

4 LAADUN MERKITYS

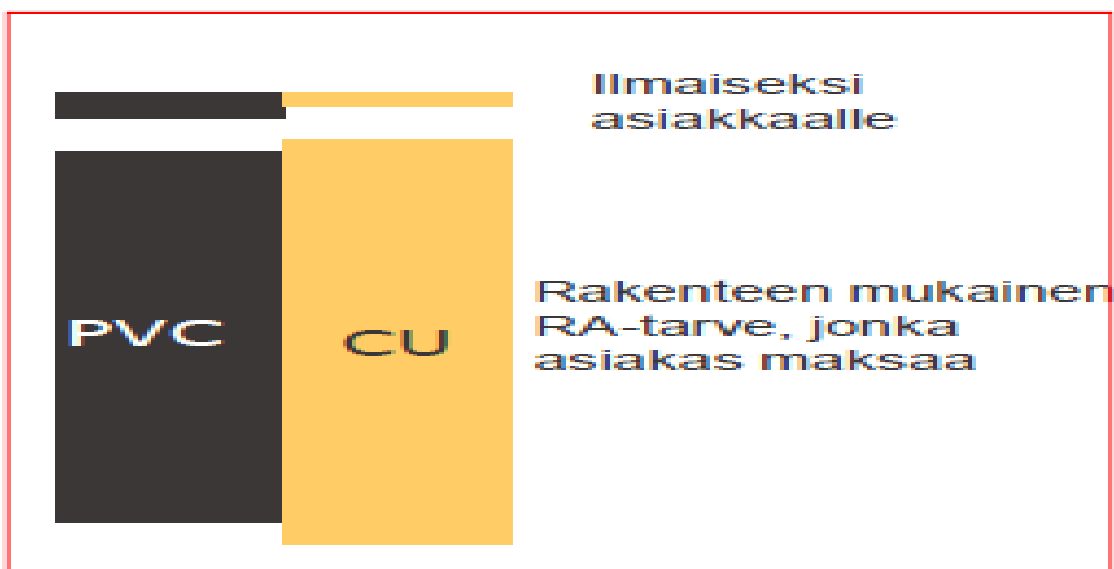
Tässä luvussa käsitellään opinnäytetyötä laadun näkökulmista. Sähkökaapelin valmistuksessa kaapelin rakenteisiin nähden ylivahvaksi valmistetut eristeet, täyte- ja ulkovaipat ovat ylimääräinen kustannus. Ylivahvuudet kuvaavat ylilaa-
tua, jotka eivät muodosta tuotteille lisäarvoa.

4.1 Laadun määrittäminen

Laatukäsitteellä on monta erilaista tulkintaa eri tarkastelunäkökulman mukaan. Yleisesti laadulla ymmärretään asiakkaan tarpeiden täyttämistä yrityksen kan-
nalta mahdollisimman tehokkaalla ja kannattavalla tavalla. (5, s. 18.)

Laatuun liittyy myös tarve suoritustason jatkuvaan parantamiseen. Kehitysim-
pulsseja saadaan paitsi omasta systemaattisesta laatutyöstä myös ulkopuoli-
sesta maailmasta. Innovaatiot, kilpailijoiden toiminta, markkinoiden ja yhteiskun-
nan muutokset aiheuttavat tilanteita, joiden seurauksena laadulle asetetaan ai-
van uudenlaisia vaatimuksia. (5, s. 18.)

Opinnäytetyön tapauksessa laadulla käsitetään eristemateriaalien ylimääräistä
käyttöä suunnitellusta ja vaaditusta. Ylivahvuudet tuotteissa ovat ylimääräinen
materiaalikustannus, josta asiakas ei ole valmis maksamaan (kuva 3).



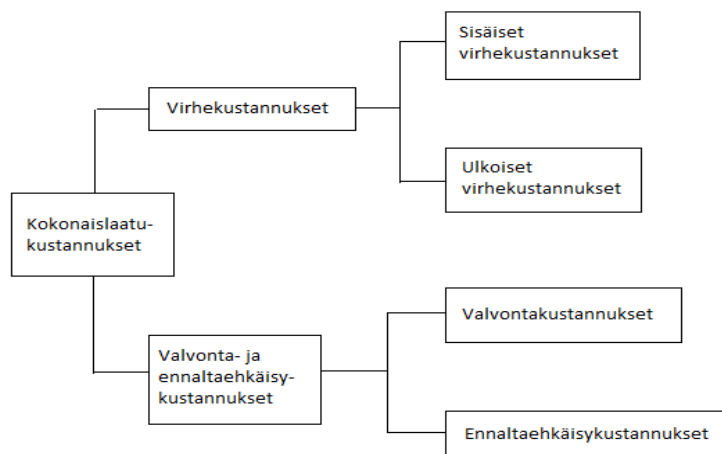
KUVA 3. Ylimääräinen materiaalikustannus (2, s. 22)

4.2 Laadun kustannukset

Laatukustannukset syntyvät pääasiallisesti virheiden tekemisestä, niiden etsimisestä ja korjaamisesta. Laatukustannusten seuranta muodostaa oikein käytettynä yhden laadunohjauksen tehokkaimmista työvälineistä. Tehokkuus perustuu siihen, että puutteellisen laadun vaikutukset voidaan ilmaista suoraan rahassa. Saatava hyöty edellyttää sitä, että laatukustannustietoa käytetään hyväksi laadunparannusprojektien suunnittelu- ja seurantavaiheissa. (6, s. 31 - 32.)

Laatukustannukset voidaan jakaa kahteen päätyyppiin. Päätyypit ovat laatua edistävät kustannukset, joiden avulla pyritään virheiden ennaltaehkäisemiseen ja eliminointiin, sekä huonosta laadusta johtuvat kustannukset. Ensimmäiseen ryhmään kuuluvat laadun kehittämiseen tehdyt investoinnit kuten laadukkaan johtamisjärjestelmän rakentaminen. Toinen ryhmä muodostuu siitä, että tehdään virheitä tai vääriä asioita. (5, s. 155.)

Laatukustannusten päätyypit voidaan yleisesti jakaa neljään ryhmään. Ryhmät ovat sisäiset virhekustannukset, ulkoiset virhekustannukset, valvontakustannukset ja ennaltaehkäisykustannukset (kuva 4). (6, s. 32.)



KUVA 4. Laatukustannusten erittely (6, s. 32)

Sisäiset virhekustannukset ovat sellaisia, jotka havaitaan yrityksen sisällä ja korjataan ennen kuin tuote toimitetaan asiakkaalle. Ulkoiset virhekustannukset ovat kustannuksia, jotka aiheutuvat siitä, kun asiakkaan havaitsema virhe tai laadut-

tomuus korjataan. Valvontakustannukset ovat kustannuksia, joilla laadun valvontaa pidetään yllä. Ennaltaehkäisykustannukset ovat kustannuksia, joita syntyy, kun pyritään ennakolta poistamaan mahdolliset virhelähteet ja laaturiskit. (5, s. 156 - 158.)

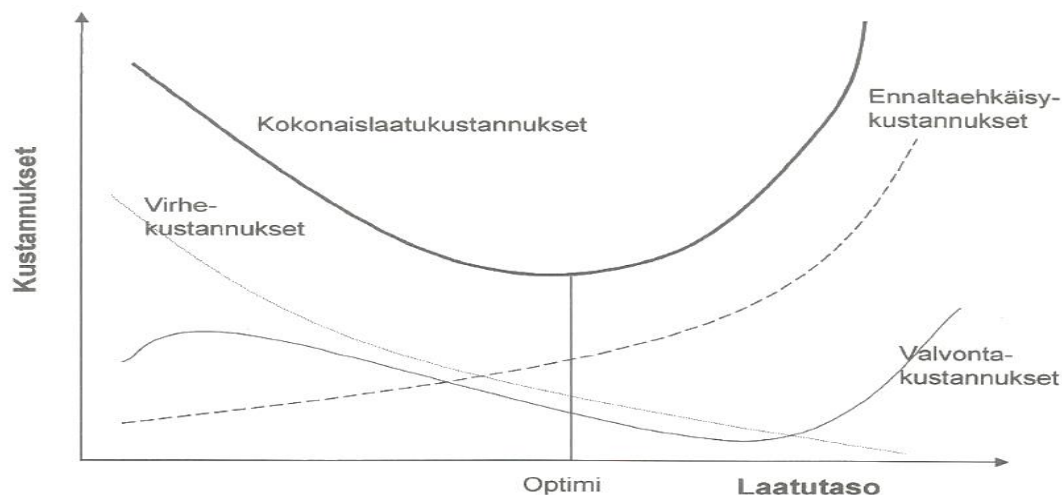
Laatukustannusten tunnistaminen ja erittely edesauttavat toiminnan ja prosessien kehittämistä. Opinnäytetyön tapauksessa laatukustannukset voivat jakautuvat seuraavasti (kuva 5.)

<u>Sisäiset virhekustannukset</u>	<u>Ulkoiset virhekustannukset</u>
Virheelliset tuotteet	Asiakkaiden havaitsemien virheiden
Virheiden korjaaminen	korjauskustannukset
Materiaalien, työn ja ajan hukkaaminen	Asiakkaiden ja tilausten menetys
Virheistä johtuvat myöhästymiset	Myöhästymissakot
Ylityöt	Alennukset tuotevirheistä
	Luottamuksen menetys
<u>Valvontakustannukset</u>	<u>Ennaltaehkäisykustannukset</u>
Valvonta ja tarkastukset	Koulutus
Auditoinnit	Toiminnan suunnittelu
Raaka-aineiden, puolivalmisteiden sekä tuotannon laadunvalvonta	Prosessien kehittäminen
Datan kerääminen, käsittely ja raportointi	Laatuorganisaatio
Mittalaitteiden ylläpito	Työvälineiden suunnittelu ja valmistaminen
Virheiden käsittelyrutiini	Henkilöstön motivointi
	Kunnossapito

KUVA 5. Laatukustannukset eriteltynä

4.3 Laadun optimointi

Laatukustannusten optimointi on toimintaa, jossa pyritään etsimään sellainen laadutaso, jolla kokonaiskustannukset minimoituvat (6, s. 34 - 35). Edellä mainitut laatukustannukset, jotka ovat virhekustannukset, valvontakustannukset ja ennaltaehkäisykustannukset, muodostavat yhdessä laadulle kokonaiskustannukset. Näiden välillä on yhteys optimia etsittäessä (kuva 6.)



KUVA 6. Laadun optimointi (6, s. 35)

4.4 Taguchin-menetelmä

Taguchin-menetelmä on tuote- ja prosessisuunnitteluun kehitetty laadun optimointimenetelmä, jolla on samanaikaisesti laatua nostava ja kustannuksia alentava vaikutus. Menetelmä tehostaa kokeellista toimintaa ja kokeista saatavan informaation tulkintaa. (7, s. 3.)

Taguchin-menetelmä jakaantuu kolmeen päävaiheeseen: systeemisuunnittelu, parametrisuunnittelu ja toleranssisuunnittelu. Taguchin laatufilosofian perusajatuksena on parantaa laatua ja alentaa kustannuksia, pienentämällä tuotteen ominaisuuksien sekä prosessien vaihtelua. (7, s. 3 - 9.)

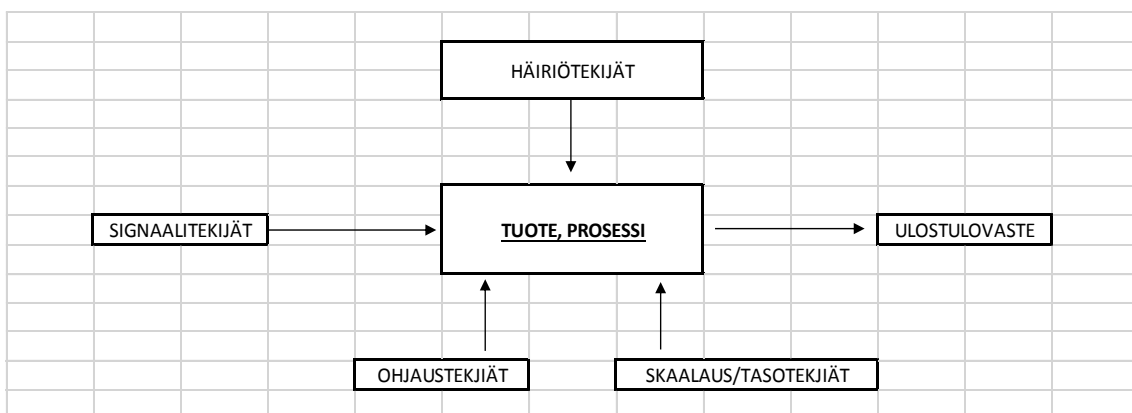
4.4.1 Parametrisuunnittelu

Parametrisuunnittelu on Taguchin-menetelmän tärkein ja oleellisin osa. Sen tavoitteena on suunnitella tuote tai prosessi optimaalisilla parametreilla, jotka tekevät tuotteesta tai prosessista mahdollisimman epäherkän vaihteluille. (7, s. 45.)

Parametrit ovat tekijöitä, jotka aiheuttavat tai aikaansaavat toimintaan liittyvän häiriön. Parametrit voidaan Taguchin mukaan luokitella neljään ryhmään:

1. Signaalitekijät ovat tekijöitä, jotka operaattorit asettavat prosessiin halutessaan tietyn ulostulon. Esimerkiksi linjanopeus ja täyteruuvien syöttönopeus

2. Ohjaustekijät ovat tuotteen parametrien arvoja jotka tuotesuunnittelu on asettanut. Esimerkiksi kaapelin kokonaishalkaisija ja vaipan seinämävahvuus
3. Skaalaus tai tasotekijät ovat tekijöitä, joilla voidaan säätää yhteys signaalitekijöiden ja ulostulon välille. Esimerkiksi automatiikka täytevaipan paksuuden säätämiseen
4. Häiriötekijät poikkeavat edellisistä siten, että niitä ei voi ohjata. Häiriötekijät vaikuttavat ulostuloon ja niiden taso vaihtelee. Esimerkiksi raaka-aineiden laadun vaihtelu ja inhimilliset virheet (kuva 7.) (7, s. 45 - 50.)



KUVA 7. Tuotteen tai prosessin optimoinnin malli (7, s. 49)

4.4.2 Toleranssisuunnittelu

Toleranssisuunnittelua käytetään pienentämään vaihtelua, jos parametrisuunnittelulla sitä ei pystytä riittävästi tekemään. Toleranssisuunnittelu on lähinnä niiden tuotteiden tai prosessien toleranssien tiukentamista, jotka vaikuttavat eniten tuotteiden vaihteluun. Toleranssisuunnittelu merkitsee usein kustannuksia, kuten parempien materiaalien ja koneiden hankintaa. (7, s. 41.)

Opinnäytetyön tapauksessa kaapeleiden seinämävahvuudelle on määritetty yksittäinen minimiarvo, keskiarvon minimiarvo, laskennallinen seinämävahvuus ja laskennallinen kokonaishalkaisija. Lisäksi joillekin tuotteille on asetettu suurin sallittu kokonaishalkaisija.

Seinämävahvuuksille ei ole määritetty maksimiarvoja. Maksimiarvojen puute seinämahvuuksissa voi aiheuttaa sen, että operaattorit valmistavat tuotteen hie-
man ylivahvaksi. Tämä voi johtua siitä, että rakenteiden miniarvot ovat ainoat pa-
rametrit jotka voivat aiheuttaa tuotantoerän hylkäämisen. Määrittämällä tuotteiden
seinämahvuuksille maksimiarvoja, joiden valmistuksessa havaitaan eris-
temateriaalien ylikäyttöä, voidaan vaikuttaa seinämahvuuksien hajontaan ja ta-
soittaa prosessin laatua.

Määrittämällä tuotteille seinämahvuuksien maksimiarvoja yritys hyväksyy tuot-
teille tietyn tasoisen eristemateriaalien ylikulutuksen, jos toleranssin yläraja on
korkeampi kuin laskennallinen seinämahvuus. Tällaisilla toimenpiteillä voitai-
siin kuitenkin saavuttaa kehitystä. Tasaamalla vaihtelua tuotteilla, joiden valmis-
tuksessa havaitaan suuresti vaihtelua, voidaan saavuttaa säästöjä materiaalikus-
tannuksissa.

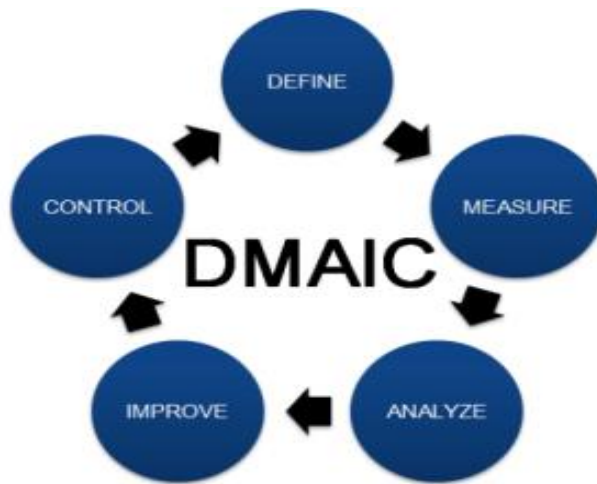
4.5 Six Sigma

Six Sigma on nykyaikainen yritysjohton sekä laatuorganisaation filosofia, jossa
pyritään kehittämään toimintaa kohti tilastollista 0-virhettä. Six Sigman tarkoituk-
sena on parantaa kaikkia organisaation alueita siten, että muutokset ovat havait-
tavissa ja mitattavissa. (8, s. 17.)

Six Sigman päätavoitteita ovat asiakastyytyväisyyden parantaminen, voiton kas-
vattaminen nousseiden tuottojen ja vähentyneiden kustannuksien avulla, suori-
tuskyvyn parantaminen projektien avulla, vikojen ja virheiden parantaminen, yri-
tyksestä löytyvän kokemuksen hyödyntäminen sekä henkilöstön sitouttaminen
läpi koko organisaation. (8, s. 42.)

4.6 Ongelmanratkaisumalli DMAIC

Ongelmanratkaisumalli DMAIC tulee sanoista define, measurement, analysis, improvement ja control eli määrittely, mittaust, analysointi, parannus ja ohjaus. Prosessi muodostaa strategian kohti ongelmien juurisyitä. (8, s. 43.) (Kuva 8.)



KUVA 8. Ongelmanratkaisumalli DMAIC (9)

Ongelmanratkaisuprosessin ensimmäinen vaihe on määrittelyvaihe (define), jossa määritellään ongelma, joka määrittää projektin tarkoituksen ja laajuuden. Määrittelyvaiheessa kerätään informaatiota parannettavasta prosessista. (8, s. 46.) Tässä työssä ongelmaksi on määritetty eristemateriaalien ylikäyttö.

Mittaus (measurement) on prosessin toinen vaihe, jonka tavoitteena on todentaa ongelman olemassaolo. Tämä tapahtuu keräämällä informaatiota ongelmasta ja mahdollisuuksista. Samalla mittausvaihe aloittaa ongelman juurisyiden etsinnän. Eräänä mittausvaiheen tavoitteena on varmentaa mittauksen luotettavuus. (8, s. 47 - 48.) Työssä mittaukseen käytettiin KSM-mittalaitteen muodostamaa dataa.

Analysointivaiheessa (analysis) pyritään löytämään ongelman aiheuttaja eli juurisyys ja luoda teoria ongelman ratkaisemiseksi. Ratkaisuja voidaan etsiä prosessi- ja data-analyysin avulla. Prosessianalyysi on yksityiskohtainen tutkimus, jonka tarkoituksena on tunnistaa jakso- ja läpimenoajat sekä korjaus- ja uusintatyöt. Data-analyysissä käytetään kerättyä dataa, jotta voidaan löytää kuvioita, trendejä ja muita eroja. Usein käytetään molempia analyysyjä. (8, s. 48 - 51.)

Analysointivaiheessa ylikäytön syitä kartoitettiin syy-seurausanalyysin avulla. Lisäksi valmistettiin tuotekohtaisia lähtötilanneanalyyskejä käytettävissä olevan datan avulla.

Parannus- ja optimointivaiheen (improvement) tavoitteena on kokeilla ja soveltaa ratkaisuja aiemmissa vaiheissa tunnistettuihin juurisyihin. Koesuunnittelu kuten Taguchi on päätyökalu, jolla pyritään pienentämään vaihtelua sekä optimoimaan prosessia. Oleellista Six Sigmassa on vaihtelun pienentäminen toleransseja vastaan. (8, s. 51 - 52.)

Parannus- ja optimointivaiheen tuloksena saadaan suunnitelmia ja testattuja toimenpiteitä, joilla ongelmat voidaan ratkaista. Lisäksi saadaan suunnitelma siitä, kuinka tuloksia voidaan arvioida seuraavissa vaiheissa. (8, s. 51 - 52.) Parannus- ja optimointivaiheessa kiinnitettiin huomiota volyymituotteisiin, jotka pyrittiin valmistamaan tuoterakenteiden mukaisiin mittoihin.

Ohjaus- ja valvontavaiheessa (control) tavoitteena on arvioida ratkaisuja ja kehittää suunnitelma, kuinka saavutettuja tuloksia ylläpidetään, sekä millaisia menettelyjä, standardeja, ohjeita ja mittauksia johtamisessa tarvitaan. (8, s. 52 - 53.) Työn aikana valmistettiin Excel-pohjaista työkalua, jolla ongelmakohdat on helppo tunnistaa ja jonka avulla projektia pystytään jatkamaan opinnäytetyön valmistumisen jälkeen.

4.7 Prosessin mittaaminen

Mittaus on olennainen osa prosessin hallintaa. Jos prosessia ei voi mitata, on sitä vaikea ohjata. Jos prosessia ei voi ohjata, on sitä vaikea johtaa ja hallita. Prosessimittarin tulisi antaa tietoa prosessin arvioimiseksi ja kehittämiseksi. (5, s. 151.)

Hyvälle prosessimittarille asetettavia vaatimuksia ovat sen luotettavuus, yksiselitteisyys, ymmärrettävyys, helppokäyttöisyys, oikeudenmukaisuus, edullisuus ja nopeus. Lisäksi mahdollinen mittaepävarmuus on tiedostettava. (5, s. 153.)

Kun aletaan seuraamaan jotain asiaa, se alkaa usein parantua ja muuttua kohti haluttuja lukuja. Jos joitain asioita ei seurata, voi henkilöstö saada käsityksen, että asia ei ole tärkeä ja se alkaa unohtua. Kun henkilöstö huomaa, että johonkin

asiaan kiinnitetään jatkuvasti huomioita ja että syitä tulokseen kysellään toistuvasti, alkaa henkilöstökin pitämään asiaa tärkeänä. (10, s. 154.)

Toinen syy prosessin mittaamiseen on tilanteen tunteminen. On hyvä tietää, millä tasolla toiminta on tällä hetkellä, jotta voidaan asettaa realistisia tavoitteita halutulle toiminnolle. (10, s. 155.)

Kolmas syy mittaamiseen on toiminnan kehittymisen osoittaminen. Mittaamisella voidaan osoittaa, miten toiminta on kehittynyt ja mihin suuntaan toiminta tulee jatkossa kehittymään. Neljäs syy mittaamiselle on osaamisen osoittaminen. Osaamisen osoittamisesta on hyötyä sekä organisaation sisällä että ulkona. (10, s. 155.)

Opinnäytetyössä prosessin mittaamisella todettiin, millä tasolla eristemateriaalien ylikulutus on. Mittaamisen avulla ylikulutustilannetta pystyttiin tuomaan operaattoreiden tietoisuuteen ja toimenpiteitä varten. Työn aikana havaittiin, että keskustelemalla materiaalitehokkuuden tärkeydestä, etsimällä syitä eristemateriaalien ylikulutukseen ja kiinnittämällä asiaan paljon huomiota saavutettiin hyviä tuloksia. Mittaamisen avulla pystyttiin myös osoittaa, kuinka materiaalitehokkuus on kehittynyt opinnäytetyön aikana. Lisäksi mittaamisen avulla pystyttiin määrittelemään tuotteet, joiden valmistus vaatii toimenpiteitä.

4.8 GAGE R&R

R&R-testi on yleisesti käytetty mittauslaitetesti. Testin nimi tulee englanninkielisistä sanoista repeatability ja reproducibility, jotka suomeksi tarkoittavat toistuvuus ja toistettavuus. Testin avulla on mahdollista erottaa mittalaitteesta ja mittajista aiheutuva epävarmuus. (6, s. 100.)

Mittalaitteesta aiheutuvaa mittausepävarmuutta kuvataan termillä toistuvuus, joka on mittauslaitteesta aiheutuva keskihajonta. Mittaajista aiheutuvaa epävarmuutta kuvataan termillä toistettavuus. Mittausepävarmuus eli toistuvuus voidaan laskea kaavalla 1, jossa \bar{R} on vaihteluvälien keskiarvon keskiarvo, EV on toistuvuus ja K_1 on vakio, joka riippuu mittauksen toistokertojen määrästä. (6, s. 100 - 102.)

$$\bar{R} = (\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C)/3$$

KAAVA 1

$$EV = \bar{R} * K_1$$

Mittajista aiheutuva epävarmuus eli toistettavuus voidaan laskea kaavalla 2, jossa \bar{X}_{ero} on toistokertojen keskiarvojen vaihteluväli, AV on toistettavuus, n on näytteiden lukumäärä, t on mittauskertojen lukumäärä ja k_2 on vakio, joka on riippuvainen mittajien lukumäärästä. (6, s. 100 - 102.)

$$AV = \sqrt{((\bar{X}_{ero} * K_2)^2 - (EV)^2 / (n * t))}$$

KAAVA 2

Koko mittausepävarmuus saadaan laskemalla toistuvuuden ja toistettavuuden neliösummat kaavalla 3. Tätä neliösummalauseketta kutsutaan varsinaiseksi R&R-testiksi. (6, s. 100 - 102.)

$$R\&R = \sqrt{((EV)^2 + (AV)^2)}$$

KAAVA 3

Opinnäytetyössä testillä on selvitetty, aiheuttaako mitattavien näytteiden leikkausprosessi epävarmuutta mittaustuloksissa. Lisäksi testillä selvitettiin KSM-mittalaitteen mittaepävarmuus eli toistuvuus ja leikkausprosessin ja mittaustuloksien välinen yhteisvaikutus. Testin perusteella pystyttiin toteamaan, tarvitaanko näytteiden leikkaamiseen mahdollisia apuvälineitä tai ohjeistusta ja onko mittalaitteen muodostama mittadata luotettava.

5 YLIKÄYTÖN ANALYSOINTI

Opinnäytetyön ensimmäisiä tehtäviä oli analysoida eristemateriaalikulutuksien lähtötilanne työhön rajattujen tuotteiden osalta. Lähtötilanteen analysointiin käytettiin KSM-mittalaitteen muodostamaan dataa. Lähtötilanteen analysoinnissa yli-
käyttöön vaikuttavia tekijöitä kartoitettiin syy-seurausanalyysin avulla.

5.1 Lähtötilanneanalyysi

Materiaalikulutuksien analysoinnissa mittadatana käytettiin KSM-mittalaitteen muodostamaa dataa. Mittadatan perusteella valmistettiin tuotekohtaisia analyysseja, joista eristemateriaalien kulutustilanne voitiin todeta. Tutkittaviksi kohteiksi valittiin volyymiltaan suurimpia tuotteita.

Laadittujen analyysien pohjalta käytiin tuotantolinjoilla keskusteluja aiheesta. Tämän tarkoituksena oli tuoda ylikulutustilannetta operaattoreiden tietoisuuteen, jotta he voisivat reagoida asiaan. Analyysin avulla havaittiin millä tasolla kulutukset eri tuotteiden kohdalla olivat. Useiden tuotteiden kohdalla havaittiin, että trendi oli kasvava. Tämä osoitti seinämävahvuuksien lähteneen kasvamaan huomaamatta.

Lähtötilanteen analysointiin käytettiin tuotteiden kolmen kuukauden keskiarvoja ennen projektin alkua. Tämän jälkeen ylikulutuksien kehittymistä seurattiin kuukausitasolla.

5.2 Seinämävahvuuksiin vaikuttavat tekijät

Työn oleellisena tehtävänä oli selvittää, mitkä tekijät vaikuttavat seinämävahvuuksiin ja eristemateriaalien ylikäyttöön. Ylikäyttöön vaikuttavia tekijöitä kartoitettiin syy-seurausanalyysin avulla. Analyysin tiedot perustuvat omiin havaintoihin sekä tuotannon työntekijöiden ja työnjohdon haastatteluihin. Kaaviossa selvitetään, miksi ylikulutusta muodostuu kaapelin vaippaustyövaiheessa (liite 1).

Eristemateriaalien ylikulutuksen hallinta on kokonaisvaltainen prosessi, johon vaikuttavat tekijät koko tuotantoprosessin lävitse. Jokainen työvaihe vaikuttaa

seuraaviin työvaiheisiin. Kuparien paksuus vaikuttaa eristystyövaiheessa käytettävien eristemassojen kulutukseen ja eristeen paksuus vaikuttaa täyte- ja vaip-pauseristeiden kulutukseen.

Tärkeiksi asioiksi seinämävahvuuksien hallinnassa muodostuvat puristintyökalujen valinta kullekin tuotteelle, työkalujen kunto ja operaattoreiden henkilökohtainen osaaminen. Aktiivisella työkalujen huollolla ja kehittämisellä voidaan vaikuttaa materiaalitehokkuuksiin, tuotteiden pinnanlaatuun, kuorittavuuteen ja linjanopeuksiin.

Tuotantolinjasta aiheutuvia muuttujia ovat puristinruuvien soveltuvuus kullekin eristemateriaalille, puristimien lämpötilavyöhykkeiden hallinta ja automatiikan toiminta, jonka tehtävänä on säätää prosessia itsenäisesti. Lisäksi tuotantolinjojen mittalaitteiden kalibroinnilla ja oikeaoppisella käytöllä on suuri merkitys seinämävahvuuksien hallinnassa.

Inhimilliset tekijät kuten kokemus ja koulutus ovat oleellinen osa seinämävahvuuksien hallintaa. Kokemus tuo varmuutta päivittäiseen tekemiseen ja tuotantolinjan tuntemiseen. Koulutus puolestaan varmistaa, että tuotantolinjaan kuuluvien laitteiden käyttö ja toimintatavat ovat hallinnassa.

Joidenkin tuotteiden rakenteet voivat antaa väärän käsityksen eristemateriaalien ylikulutuksesta. Valmistus tuoterakenteen mukaisiin mittoihin voi olla haastavaa ja huonontaa muita ominaisuuksia, kuten ulkonäköä ja kaapelin taipuvuutta.

Tuotannon eräkoolla on vaikutus eristemateriaalien ylikulutukseen. Kun eräkokoko on lyhyt, tuotannon operaattoreilla ei ole paljoa aikaa säätää ja tehdä korjauksia prosessiin. Pidemmällä tuotantoerällä operaattoreilla on enemmän aikaa säätää prosessia ja vaikuttaa seinämävahvuuksiin. Tämä olisi hyvä huomioida eräkokojen suunnittelussa.

Tehokkain tapa vaikuttaa seinämävahvuuksiin ja eristemateriaalien kulutuksiin on pyrkiä vaikuttamaan operaattoreiden toimintaan. Lisäämällä valvontaa ja kiinnittämällä asiaan enemmän huomiota pyrkivät operaattoritkin tarkempiin ja parempiin tuloksiin.

5.3 Ylikäytön laskenta

Johdinten ja kaapeleiden eristeiden osalta ylikulutukseen voidaan soveltaa laskentakaavaa. Täytemassan osalta tarkkaa laskutoimitusta on vaikea muodostaa, koska tästä ei suoriteta mittauksia jotka tallentuisivat muistiin. Ylikulutusprosentti voidaan laskea tuotteen rakenteiden mukaisien mittojen ja valmistetun tuotteen todellisten mittojen välisestä suhteesta. Laskentaan sovelletaan kaavaa 4. (11, s. 18).

$$A = \frac{\pi d^2}{4} \quad \text{KAAVA 4}$$

Kaavassa 5 on esitetty eristemateriaalin ylikäyttöprosentin laskenta, jossa d on mitattu ulkohalkaisija, $s_{mitattu}$ on mitattu seinämävahvuuden keskiarvo, $s_{rakenne}$ on tuoterakenteen mukainen laskennallinen seinämävahvuus, A on kaapelin kokonaispinta-ala ja A_1 on kaapelin sisäpinta-ala, jossa eristemateriaalia ei ole.

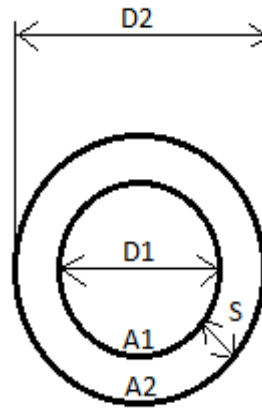
$$\left(1 - \frac{\frac{\pi(d-2(s_{mitattu}-s_{rakenne}))^2}{4} - A_1}{A - A_1}\right) * 100 \quad \text{KAAVA 5}$$

5.4 Täytevaipan ylivoimisuus

Tuoterakenteesta poikkeavasti liian paksuksi valmistettu täyte-eriste on yksi merkittävä tekijä, joka vaikuttaa vaippauseristeen ylikulutukseen. Täytevaipan paksuuteen vaikuttavat useat tekijät, kuten eristettyjen johtimien paksuudet ja kertaustyövaiheen laatu.

Täytevaipan paksuuden vaikutus vaippauseristeen kulutukseen voidaan todeta laskutoimituksella. Kuvassa 9 on tuoterakenteen mukaisissa mitoissa oleva tuote, jossa $D1 = 6,405$ mm, $D2 = 9,205$ mm ja $S = 1,4$ mm. Esimerkkilaskussa täytteen paksuus $D1$ onkin kasvanut mittaan $6,505$ mm, jolloin $D2$ kasvaa mittaan $9,305$ mm. Tuotantoerässä mitta S pysyy ennallaan. Tämä muutos vaikuttaa vaippamassan pinta-alaan $A2$. Ylimääräinen vaippamassan kulutus voidaan las-

kea rakenteen mukaisen pinta-alan ja muuttuneen pinta-alan A2 välisestä suhteesta. Muutoksen laskentaan sovelletaan kaavaa 6. (11, s. 18). Kaavassa 7 vaippamassan kulutuksen muutos esimerkkitapauksessa.



KUVA 9. Täytevaipan vaikutus vaippamassan kulutukseen

$$A = \pi r^2 = \frac{\pi d^2}{4}$$

KAAVA 6

$$A_{2 \text{ rakenne}} = A_{\text{kok}} - A_1 = \frac{\pi * 9,205^2 \text{ mm}}{4} - \frac{\pi * 6,405^2 \text{ mm}}{4} = 34,328 \text{ mm}^2$$

$$A_{2 \text{ ylivahv.}} = A_{\text{kok}} - A_1 = \frac{\pi * 9,305^2 \text{ mm}}{4} - \frac{\pi * 6,505^2 \text{ mm}}{4} = 34,768 \text{ mm}^2$$

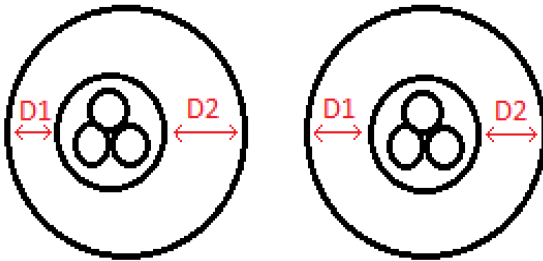
$$\text{Ylikäyttö} - \% = \left(1 - \frac{34,328 \text{ mm}^2}{34,768 \text{ mm}^2}\right) * 100 = 1,26\%$$

KAAVA 7

Laskennasta voidaan todeta, että täytemassakerroksen kasvu vaikuttaa vaippauseristeen määrään seinämävahvuuden pysyessä tuoterakenteen mukaisissa mitoissa. Lisäksi voidaan todeta, että pelkästään ulkovaipan seinämävahvuuden seuraaminen ja kontrolloiminen ei kerro kaikkea eristemateriaalien ylikulutuksesta.

5.5 Keskeisyys

Keskeisyyden hallinnalla on suuri merkitys eristemateriaalien ylikulutuksessa. Keskeisyydellä tarkoitetaan, kuinka keskitetysti johdin tai johtimet ovat eristekerroksia. Jos valmistettava tuote on keskitetty puutteellisesti, eristetty kerros kasvaa suureksi, jotta rakenteiden mukaiset minimiarvot täyttyvät. Keskeisyyden voidaan todeta olevan hallinnassa, kun mitta D1 on yhtä suuri kuin D2. KSM-mittaustulosta voidaan käyttää apuna keskeisyyden mittauksessa. Kun seinämävahvuuden yksittäinen minimi ja keskiarvo ovat yhtä suuret tai hyvin lähellä toisiaan on keskittäminen onnistunut (kuva 10.)



KUVA 10. Keskeisyys

Keskeisyyden hallitseminen on yksi tärkeimmistä materiaalitehokkuutta parantavista toimenpiteistä. Keskeisyyden hallitseminen on linjaoperaattoreiden vastuulla. Keskeisyyden hallitsemisessa korostuu vahvasti operaattoreiden henkilökohtainen osaaminen. Tarkasti keskitetyn tuotteen seinämävahvuuksien hallinta on helpompaa kuin huonosti keskitetyn tuotteen. Tämä vähentää virheellisten tuotteiden määrää tuotannossa ja tehostaa eristemateriaalien käyttöä.

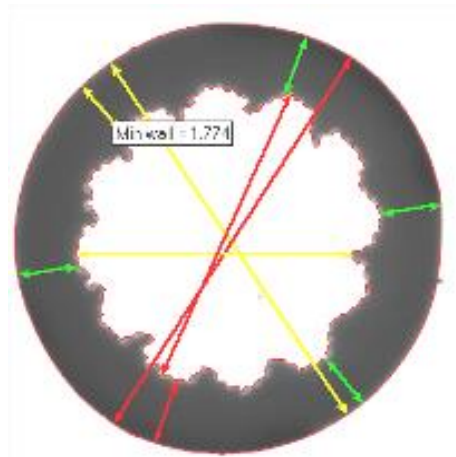
6 ACM KSM -MITTALAITE

ACM KSM on kaapelinmittausyksikkö kaapelin näytteiden off-line-mittaukseen. Se korvaa manuaaliset profiiliprojektorit sekä mittausmikroskoopit ja antaa tarkemman toistotarkkuuden mittauksille (kuva 11.) (12.)



KUVA 11. KSM-mittalaite (12)

KSM käyttää kuvantamistekniikkaa ja mittaaminen kestää vain sekunteja. Kuvausjärjestelmä suorittaa nopeasti suuren määrän kaksiulotteisia mittauksia. Mittaus esittää näytteestä maksimi-, minimi- ja keskiarvon sekä keskeisyyden ja soikeuden (kuva 12.) (12.)



KUVA 12. Mittalaitteen muodostama mittatulos (12)

6.1 Mittausprosessi

Yksi työn vaiheista oli selvittää, kuinka prosessi etenee tuotantolinjojen operaattoreiden ja koestajien suorittamien seinämävahvuusmittauksien välillä. Selvityksen perusteella valmistettiin prosessikaavio, joka havainnollistaa prosessin etenemisen (liite 2).

Työssä havaittiin, että prosessi on erittäin vakioitunut vuosien saatossa ja täten toimii luotettavasti. Ongelmaksi prosessissa muodostuu linjaoperaattoreiden ja koestajien välinen kommunikointi, joka on erittäin tärkeä osa seinämien ylivahvuuksien kontrollointia. Kommunikointiin vaikuttavat oleellisesti henkilökemiat ja jokaisen oma motivaatio toimia parhaalla mahdollisella tavalla.

Koestajien olisi hyvä antaa välittömästi palautetta mittauksen jälkeen. Linjaoperaattoreiden tulisi toimia palautteen pohjalta ja säätää prosessia mahdollisuuksien mukaan tai ylläpitää saavutettu hyvä laatutaso tuotantoerän loppuun saakka. Positiivisena asiana mittausprosessissa havaittiin, että koestajilla on tapana kulkea tuotantolinjoilla ja havaita mahdollisia puutteita ja virheitä jo tuotannon aikana.

6.2 Mittauksen valmistelut

Mittalaite käynnistetään laitteen reunasta löytyvästä virtakytkimestä. Mittaohjelmisto käynnistyy tietokoneen työpöydältä löytyvästä kuvakkeesta. Mittalaitteessa on kaksi kameraa, jotka suorittavat näytteen kuvauksen. Kamera valitaan näytteen koon perusteella. Mitattava näyte asetetaan mittapöydällä olevalle näyteläksille. Lasia liikuttamalla näyte voidaan keskittää kameran kuvausalueelle.

Mitattavan näytteen paksuus tulisi olla 1-1,5 millimetriä, joka on saman paksuinen kuin kalibroinnissa käytettävä kalibrintilevy. Mitattavan näytteen pintojen tulee olla suoraan leikattuja ja reunojen puhtaita, jotta mittatuloksesta saadaan luotettava. (13, s. 1 - 2.)

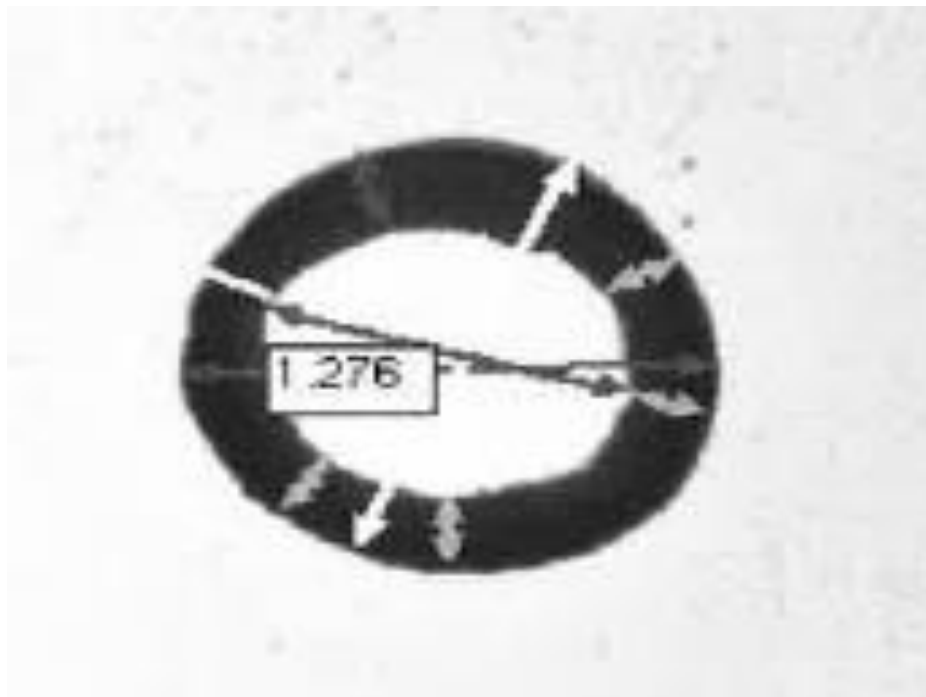
Ennen mittauksen käynnistämistä tulee valon voimakkuus ja kuvan tarkkuus säätää ohjelmiston näyttämien mittareiden mukaisesti. Valon voimakkuutta sääde-

tään mittalaitteen takaa löytyvästä kytkimestä. Mittaohjelmisto näyttää valon voimakkuuden asteikolla. Valon voimakkuus on riittävä, kun mittari on vihreällä alueella. Kuvan tarkkuutta säädetään zoomauksen avulla. Zoomauksen voimakkuus on vakioitu, joten sitä ei tarvitse normaalitilanteessa muuttaa. (13, s. 1 - 2.)

6.3 Näytteen leikkaaminen

Mitattava näyte leikataan käyttäen parranleikkuukoneen terää, mattopuukkoa tai kirurgin veistä. Kukin mittauksia suorittava henkilö käyttää näytteen leikkaukseen itselleen sopivinta tapaa. Näytteen laatu ja mittatuloksen luotettavuus ovat alttiita mittaajasta aiheutuvia virheille.

Näytteen leikkaamiseen mietittiin ratkaisuja, jotta toimintatavasta saataisiin yhtenäinen ja luotettava. Tämä voisi vähentää mittausprosessissa syntyviä virheitä. Vinoon leikatun näytteen pintaan muodostuu varjo, jonka mittalaite laskee ainevahvuudeksi ja täten mittatuloksesta tulee virheellinen (kuva 13).



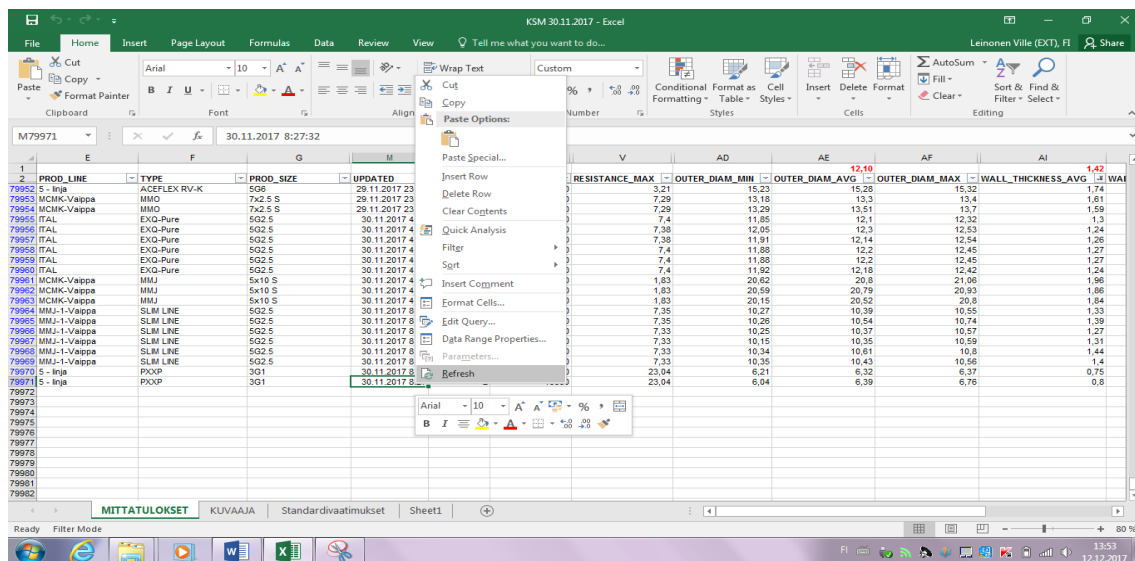
KUVA 13. Huonosti leikattu näyte, varjo näytteen yläreunassa

6.4 Mittadatan tallentuminen

Ennen mittauksen suorittamista ohjelmistoon syötetään tuotteen nimi, koko, valmistuslinja ja eräkoko. Nämä tiedot seuraavat mittatuloksien mukana. Mittauksen

suorittamisen ja hyväksymisen jälkeen mittaustulos siirtyy mittapöytäkirjaan valitsemalla haluttu mittaustulos ja painamalla kohdasta convert. Mittapöytäkirjaan kerätään tuotantoerän jokainen mittaustulos. Mittapöytäkirja on Excel-tiedosto, joka kulkee tuotteen orderilla eli tilausnimikkeellä. Mittapöytäkirjat tallennetaan asemalle G, kansioon ACM_KSM.

Kun tuotantoerä on kokonaan valmistettu ja mittaustulokset tallennettu mittapöytäkirjaan, tallennetaan tulokset yhteiseen tiedostoon, johon jokainen mitattu tuotantoerä on tallennettu. Tiedosto on Excel-tiedosto nimeltään KSM, joka löytyy asemalta G, kansioista AJ mittadata. Tallennus mittapöytäkirjasta yhteiseen mittaustulostiedostoon tapahtuu näppäinyhdistelmällä Ctrl+r. Näppäinyhdistelmällä tiedostossa oleva makro siirtää tiedot serverille, josta KSM-tiedosto kerää tulokset omaan pöytäkirjaansa. Jotta KSM-tiedoston mittaustulokset päivittyisivät luettavaksi, täytyy se jokaisella lukukerralla päivittää (kuva 14).



KUVA 14. Mittadatan päivittäminen

6.5 Mittadat tiedoston toiminta

Mittadata on arvokasta tietoa eristemateriaalien ylikulutuksesta ja oivallinen työkalu kehityskohteiden tunnistamiseen. KSM-mittadatan Excel-tiedostoon on edellisissä projekteissa valmistettu kuvaaja, jolla ylikulutustilanteita voidaan tutkia.

Kuvaaja toimii siten, että tiedostoon suodatetaan näkyviin tutkittavat tiedot kuten tuotantolinja, tuotteen nimi, koko ja tuotannon ajankohta. Haluttujen kriteerien mukaan välilehdelle kuvaaja muodostuu diagrammi, josta selviää seinämävahvuuksien mittaustulokset. Excel-tiedoston soluun seinämän keskiarvo syötetään tutkittavan tuotteen rakenteen mukainen seinämän keskiarvon laskennallinen mitta. Soluun seinämän minimi syötetään rakenteen mukainen seinämän yksittäinen pienin sallittu mitta. Soluun ylikäyttö sijoitettu kaava laskee ylikäyttöprosentin mittaustulosten ja syötettyjen arvojen perusteella.

Mittadataa voisi hyödyntää nykyistä tehokkaammin. Valmistamalla mittapöytäkirjaan helppokäyttöisiä toimintoja ja luomalla malli, kuinka ylikulutustilannetta seurataan sekä kuinka siihen reagoidaan, voidaan saavuttaa merkittäviä säästöjä materiaalikustannuksissa.

6.6 Ylikulutuksen seurantatyökalu

Yksi opinnäytetyön keskeisimmistä tavoitteista oli suunnitella toimintatapa, kuinka ylikulutustilannetta voidaan seurata, raportoida ja saattaa tehokkaasti yleiseen tietoon toimenpiteitä varten. Tehostamalla ylikulutuksen seurantaa, voidaan tunnistaa kehitystä ja toimenpiteitä vaativia kohteita ja tehostaa tuotannon materiaalitehokkuutta.

Opinnäytetyön aikana volyymituotteiden seinämävahvuuksien kehitystä seurattiin kuukausitasolla. Tästä muodostui Excel-tiedosto, jonka avulla on helppo seurata seinämävahvuuksien kehitystä. Lisäksi tiedostoon liitettiin laskelmia siitä, kuinka paljon projekti on tuonut säästöjä materiaalikustannuksissa. Tämän avulla voidaan tunnistaa tuotteet, joiden valmistukseen tulisi ohjata resursseja. Lisäksi työkalun avulla voidaan helposti havainnollistaa saavutetut tulokset. Tiedostoon on helppo lisätä uusia tuotteita seurantaa ja toimenpiteitä varten.

7 ZUMBACH ODEX® -MITTALAITE

Opinnäytetyön osa-aiheena oli perehtyä Odex®-keskeisyysmittalaitteen toimintaan sekä suunnitella ja toteuttaa laitteistolle käyttöönotto valitulle eristyslinjalle. Mittalaite päätettiin sijoittaa eristyslinjalle 4 sen tuotantovolyymien ja asennusteknisten yksityiskohtien johdosta.

Zumbach Odex® on tarkka ja luotettava mittalaite eristehalkaisijan, johtimen epäkeskeisyyden ja keskeisyyden mittaamiseen eristysprosessin aikana (kuva 15). Odex® mittaa epäkeskeisyyttä, halkaisijaa ja soikeutta mikrometrien tarkkuudella. Mittalaite suorittaa 2 400 samanaikaista laser- ja magneettimittausta sekunnissa ja soveltuu halkaisijaan 0,08 - 10 mm paksuisille johtimille eikä vaadi uudelleen kalibrointia. (14, s. 2 - 4.)



KUVA 15. Odex®-mittalaite ja induktori

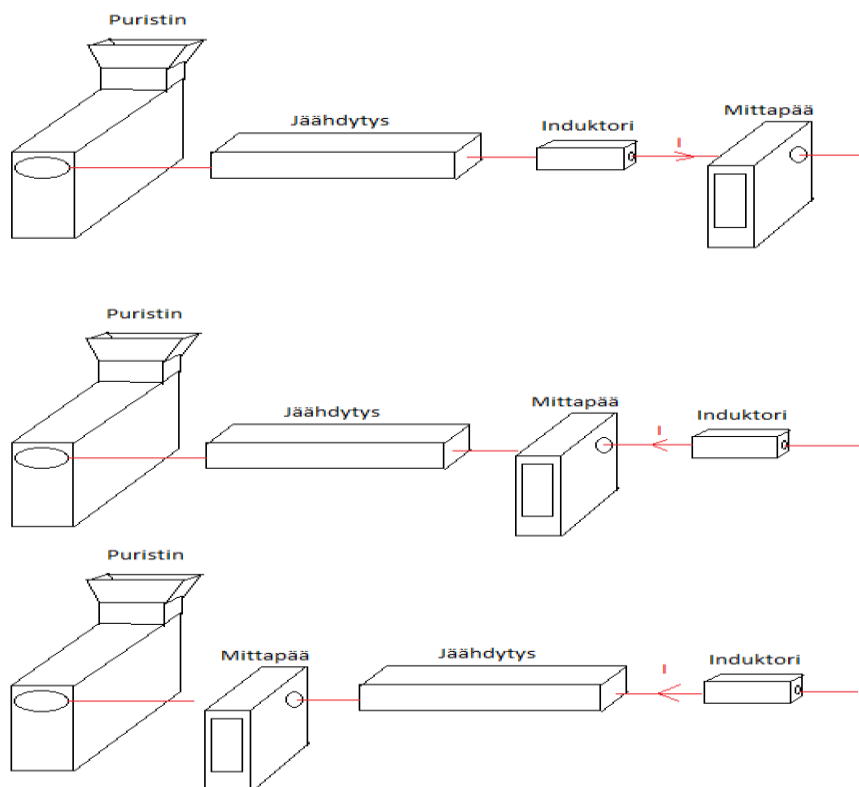
7.1 Toimintaperiaate

Odex® yhdistää sähkömagneettimittauksen ja laserskannauksen periaatteet. Ulkohalkaisija mitataan korkeataajuisella laserskannauksella, kun johtavan materiaalin sijaintia eristeeseen nähden mitataan voimakkailla magneettikentillä. Molempia mittauksia suoritetaan jatkuvasti korkealla syklillä, jotta johtimen liikkumisesta johtuvat epätarkkuudet voidaan minimoida. Jotta johtavan materiaalin sijainti eristeessä voidaan mitata sähkömagneetin avulla, joudutaan johtimeen muodostamaan virtaa. Virta muodostetaan korkeataajuisella induktorilla, joka on kytketty ohjattavaksi mittapäähän. (14, s. 2 - 4.)

Mittalaitteen kokonaisuus sisältää mittapään, induktorin ja näyttöpäätteen prosessorin kera. Näyttöpäätteenä voidaan käyttää useita Zumbachin valmistamia USYS®-tuoteperheen päätteitä. Vaihtoehtoisesti pelkän keskeisyyden mittaamisessa riittää tietokone. Prosessoreihin voidaan yhdistää useita valmistajan tarjoamia mittalaitteita ja näin muodostaa monipuolisia mittausjärjestelmiä.

7.2 Käyttöönotto

Mittalaitteisto voidaan sijoittaa tuotantolinjastoon usealla tavalla. Valmistaja ohjeistaa asentamaan laitteiston jollain kolmesta seuraavasta variaatiosta. Asennustapaan vaikuttavat käytettävissä oleva tila ja saatavilla olevat maadoituspisteet (kuva 16). Mittalaitteen asennus suoritettiin yhteistyössä yritykselle kunnossapito- ja asennuspalveluja tarjoavan yrityksen kanssa. Mittalaite päädyttiin asentamaan kuvassa 16 ensimmäiseksi esitetyllä tavalla.



KUVA 16. Vaihtoehdot mittalaitteen sijoittamiseen (14, s. 2)

Mittalaite linjattiin tarkasti kaapelin kulkureitille ja kiinnitettiin tukevasti lattiaan. Mittalaite ja induktori kiinnitettiin jalaksiin, jotka maadoitettiin. Induktori kytkettiin mittalaitteeseen ja mittalaite kytkettiin Zumbachin valmistamaan näyttöpäätteen, josta mittausprosessia voidaan seurata ja ohjata. Mittalaitetta ei saatu toimimaan halutulla tavalla opinnäytetyön aikataulun mukaisesti, joten päätettiin, että kunnossapito jatkaa laitteen käyttöönottoa.

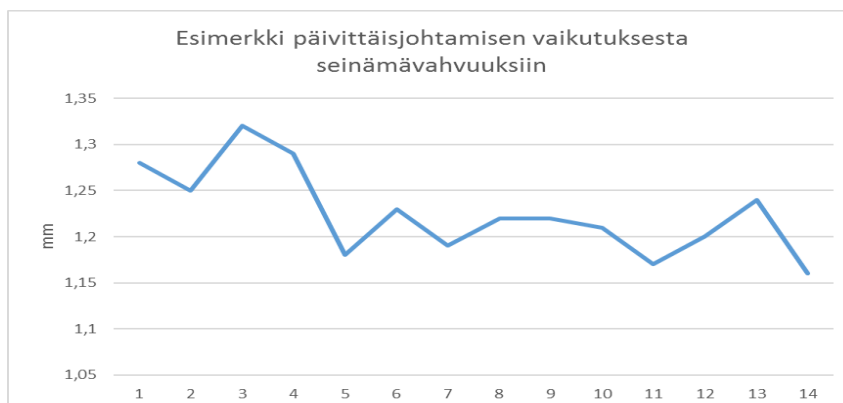
8 HAVAINNOT JA KEHITYSMAHDOLLISUUDET

Tässä luvussa esitetään opinnäytetyön aikana havaittuja kehityskohteita. Lisäksi luvussa esitetään vaihtoehtoja, kuinka projektia voidaan jatkaa opinnäytetyön päätyttyä.

8.1 Päivittäisjohtaminen ja materiaalien ylikäyttö

Eristemateriaalien ylikäytön seuranta olisi tehokasta olla osana päivittäistä johtamista. Kun esimies- ja laatuvaluossa olevat henkilöt liikkuvat tuotannossa, tulisi heidän kiinnittää nykyistä enemmän huomiota seinämävahvuuksiin. Päivittäinen seuranta luo positiivista painetta parantaa suorituksia tuotantolinjoilla ja sitä kautta tehostaa prosessia. Tämä toiminta voisi tehostaa prosessia tiettyyn pisteeseen, jolloin vastaan tulee tuotantolinjojen ja tuoterakenteiden asettamia rajoituksia.

Kuvassa 17 on esitetty tuotantoerän valmistus, jonka seinämävahvuuksiin kyettiin vaikuttamaan päivittäisjohtamisen periaatteella. Neljä ensimmäistä mittaustulosta osoittivat, että vaipan seinämä on liian paksu. Viidenneistä mittauksesta lähtien tuotteet saavuttivat rakenteiden mukaiset mittansa valvonnan ja johtamisen avulla.



KUVA 17. Johtamisen vaikutus seinämävahvuuksiin

Seinämävahvuuksien mittaustuloksia voidaan seurata reaaliaikaisesti tietokoneen välityksellä. Mittaustulokset ovat luettavissa verkkoasemalta G, kansioista ACM_KSM. Kansiossa mittatulokset kulkevat tuotteiden tilausnumerolla. Tämä helpottaa seinämävahvuuksien seurantaa osana päivittäistä johtamista.

8.2 Ylikulutus varastosaldoissa

Ylivahvuuteen valmistetut tuotteet heijastuvat virheellisinä varastosaldoina. Virhe saldoissa tapahtuu, kun tuote valmistetaan yli laskennallisten seinämävahvuuksien. Rakenne laskee tuotantoerään kuluvien eristemateriaalien määrän käyttäen määritettyjä laskennallisia seinämävahvuuksia sekä eräkokoa ja tätä kautta koko erään kuluvien eristeiden määrän kiloina.

Operaattorin tehtyä tuotannonvahvistuksen vähentyy saldoista valmistukseen laskettu määrä. Seinämävahvuudeltaan paksuksi valmistetussa tuotantoerässä voidaan puhua jopa useista sadoista kiloista eristemateriaaleja, jotka eivät poistu varastosaldoista. Tämä aiheuttaa ylimääräisiä inventaarioita ja kasvattaa riskiä, että eristemateriaalit pääsisivät yllättäen loppumaan.

8.3 Ehdotus projektin jatkomahdollisuuksista

Opinnäytetyön jälkeen projektia voidaan jatkaa usealla tavalla. Kaikissa seuraavaksi esitetyissä vaihtoehtoisissa lähtökohtana on, että ne sitoisivat mahdollisimman vähän resursseja, mutta olisivat mahdollisimman tehokkaita toimenpiteitä vähentämään eristemateriaalien kulutusta.

Ensimmäisessä ja yksinkertaisimmassa toimintatavassa seinämävahvuuksiin kiinnitetään huomioita eräkoon perusteella. Tässä toimintamallissa varmistutaan, että tuote valmistetaan mahdollisimman tarkasti rakenteen mukaisiin mittoihin eräkoon ollessa riittävän suuri. Tällä tavoin voidaan saavuttaa säästöjä lyhyelläkin aikavälillä.

Toisessa ja järjestelmällisemmässä toimintatavassa seinämävahvuuksiin kiinnitetään huomiota tuoteperhe kerrallaan. Tämä toimisi siten, että määritetään tuoteperhe, jonka valmistusta halutaan tehostaa, ja pyritään valmistamaan sen tuoteperheen jokainen eri variaatio rakenteen mukaisiin mittoihin. Tämä toimintamalli vie enemmän aikaa, mutta pidemmällä aikavälillä tuottaisi todennäköisesti hyviä tuloksia.

Kolmannessa toimintatavassa seinämävahvuuksiin kiinnitetään huomiota tuotantolinjakohtaisesti. Tässä toimintamallissa määritetään tuotantolinja, jonka materiaalihokkuutta halutaan parantaa, ja pyritään valmistamaan sen linjan tuotteita mahdollisimman tarkasti rakenteen mukaisiin mittoihin. Tämä toimintamalli voisi toimia esimerkiksi eristyslinjoilla ja mcmk-linjalla.

Neljännessä ja kokonaisvaltaisimmassa toimintatavassa käytetään kaikkia tai osaa toimintamalleista. Tässä toimintamallissa varmistutaan, että suurilla tuotantoerillä seinämävahvuudet ovat mahdollisimman lähellä rakenteen mukaisia mittoja, ja samalla suoritetaan tuoteperhe- ja tuotantolinjakohtaisia projekteja materiaalikulutuksen vähentämiseen.

Tarvittaessa tuotteille voidaan suorittaa koeajo yhdessä kehitystiimin, laatuorganisaation ja tuotannon operaattoreiden kanssa. Koeajot suoritettaisiin, kun valitut tuotteet saapuvat tuotantoon. Koeajosta luodaan tarvittaessa uusi koeajopöytäkirja, jotta jokainen operaattori pystyy valmistamaan tuotteen uusilla menetelmillä.

Viimeisenä vaiheena jokainen toimintamalli vaatii seuranta, jolla varmistutaan, että aikaisemmin saavutetut tulokset saavat jatkuvuutta. Seurantaan voidaan käyttää opinnäytetyön aikana valmistettua Excel-pohjaa.

Koestajien osuutta seinämävahvuuksien hallinnassa voisi korostaa nykyisestään. Ohjeistamalla heidät tiedottamaan tuotantolinjojen operaattoreita mittaus-tuloksista voidaan toiminnasta luoda pysyvämpää rutiinia. Lisäksi työnjohdon ollessa pois paikalta, voidaan luottaa, että tuotanto on tästä näkökulmasta tehokasta.

Vaihtoehtoisesti seinämävahvuuden mittaukset voitaisiin teetättää linjaoperaattoreilla. Tämä varmistaisi sen, että he varmasti tietäisivät, mikä on valmistuksessa olevan tuotteen seinämävahvuus ja pystyisivät säätämään prosessia tämän perusteella.

9 OPINNÄYTETYÖN AIKANA SAAVUTETUT TULOKSET

Opinnäytetyön aikana saavutettiin merkittäviä säästöjä materiaalikustannuksissa valmistamalla työhön rajatut tuotteet mahdollisimman tarkasti tuoterakenteiden mukaisiin mittoihin. Lisäksi työn avulla selvitettiin, että materiaalikustannuksista löytyy runsaasti säästöpotentiaalia. R&R-testin avulla varmistuttiin mittalaitteen ja mittaustulosten luotettavuudesta.

9.1 R&R-testi

R&R-testin tarkoituksena oli selvittää, aiheuttaako mitattavien näytteiden leikkausprosessi tai KSM-mittalaite epävarmuutta mittaustuloksiin. Testiin osallistui yrityksen kolme koetus- ja mittaustyötä suorittavaa henkilöä. Jokainen leikkasi viisi mitattavaa näytettä, jotka mitattiin kolmeen kertaan. Mitattavat näytteet leikattiin samasta, noin 1 metrin mittaisesta valmiista kaapelista. Mittaustuloksena kirjattiin mittalaitteen mittaama seinämävahvuuden keskiarvo.

Mittaustuloksien perusteella laskettiin mittalaitteesta aiheutuva epävarmuus eli toistuvuus sekä mittajaista ja näytteen leikkaamisesta aiheutuva epävarmuus eli toistettavuus. Lisäksi laskettiin varsinainen R&R-testi eli koko mittausepävarmuus (liite 3).

Tuloksista pääteltiin, että mittaja ja näytteiden leikkaus aiheuttavat suuremman mittaepävarmuuden kuin mittalaite. Tämä tarkoittaa, että mitattavien näytteiden leikkauksen laatuun tulisi kiinnittää enemmän huomiota. Alkuperäisenä ideana oli miettiä mahdollisia apuvälineitä leikkausprosessia varten. Testin tuloksien jälkeen tultiin siihen päätökseen, että suorittamalla näytteiden leikkaukset huolellisesti, saavutetaan tarvittava tarkkuus mittaustuloksissa.

Mittalaite osoittautui toistuvuuden näkökulmasta luotettavaksi. Kolmen mittaajan käytöllä mittatulokset poikkesivat toisistaan korkeintaan 0,02 mm. Tämän poikkeavuuden johdosta voidaan todeta, että yksittäistä sadasosan millimetriä ei tulisi pitää merkittävänä mittana vaan osana mittalaitteen mittatoleranssia.

Mittaustuloksia voi vääristää kaapelin seinämävahvuudesta löytyvä luontainen vaihtelu, jolloin luotettavimman tuloksen saamiseksi tulisi suorittaa useampi mitaus ja käyttää mittatulosta, joka edustaa näiden mittauksien keskiarvoa.

9.2 Ylikäytön muutos opinnäytetyön aikana

Seinämävahvuuksien muutosta mitattiin koko opinnäytetyön ajan. Tavoitteena oli saavuttaa säästöjä materiaalikustannuksissa ja luoda käytäntöä toiminnalle, jossa seinämävahvuudet pysyisivät hallinnassa jatkossakin.

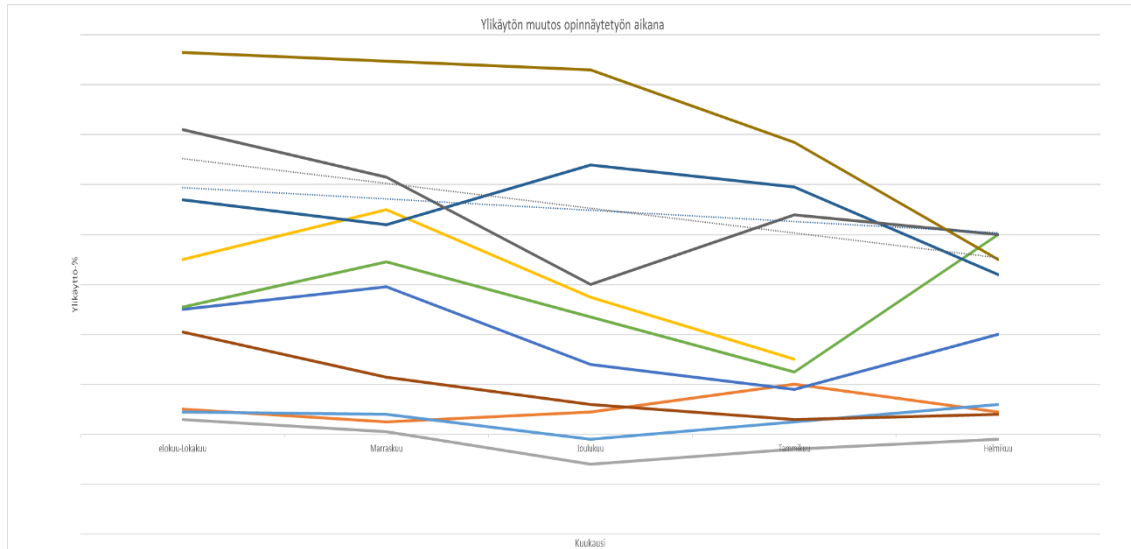
Muutosta seinämävahvuuksissa ja ylikäytössä mitattiin kuukausitasolla, jotta ajanjaksolle sopisi yksi tai useampi tuotantoerä tutkittavia tuotteita. Vertailukohdeksi tuotteille asetettiin seinämävahvuuksien kolmen kuukauden keskiarvo ennen projektin alkua.

Opinnäytetyön aikana saavutettiin merkittäviä säästöjä materiaalikustannuksissa. Suurimmat säästöt muodostuivat volyymituotteissa, joihin kiinnitettiin erityisen huomioita. Lisäksi toimenpiteillä saavutettiin säästöjä useissa muissakin tuotteissa, joita ei varsinaisesti mitattu työn aikana.

Kaikista tarkkailuun valituista tuotteista kyettiin alentamaan eristemateriaalien kulutusta useita prosenttiyksiköjä ja useiden tuotteiden osalta ylikäyttö kyettiin jopa puolittamaan. Tämä saavutettiin aktiivisella työskentelyllä tuotantolinjoilla, koeajoilla ja aktivoimalla koestajia puuttumaan herkemmin vahvaksi valmistettuihin tuotteisiin.

Kuvassa 18 on esitetty ylikäytön muutos projektin aikana. Kuvan jokainen viiva edustaa yksittäistä tuotetta, joiden materiaalikulutuksia pyrittiin vähentämään. Materiaalikulutuksissa havaittiin myös negatiivisia nousuja, jotka pääsääntöisesti

pystyttiin korjaamaan seuraavien kuukausien tuotantoerissä. Osa helmikuun negatiivisista materiaalikulutuksien nousuista voidaan selittää uuden eristämateriaalin koeajoilla ja normaalista poikkeavan vaippaustekniikan käytöllä.



KUVA 18. Ylikäytön muutos opinnäytetyön aikana

10 YHTEENVETO

Opinnäytetyön tavoitteena oli vähentää sähkökaapeleiden tuotannossa käytettävien eristemateriaalien ylikulutusta ja tuoda tätä kautta yritykselle säästöjä. Lisäksi työssä luotiin pohjaa materiaalitehokkaammalle tuotannolle.

Työssä etsittiin konkreettisia keinoja eristemateriaalien ylikulutuksen vähentämiseen ja käytössä olevan ACM KSM -mittalaitteen muodostaman datan hyödyntämiseen. Lisäksi työn tavoitteena oli suorittaa käyttöönotto Zumbach Odex® -mittalaitteelle, jonka avulla voidaan vähentää materiaalikustannuksia eristystyövaiheessa. Mittalaitetta ei kuitenkaan saatu toimimaan halutulla tavalla työn aikataulun mukaisesti.

Opinnäytetyön aikana saavutettiin merkittäviä säästöjä materiaalikustannuksissa valmistamalla tuotteet mahdollisimman tarkasti tuoterakenteiden mukaisiin mittoihin. Erityisessä tarkkailussa olivat yrityksen volyymituotteet, joiden materiaalikulutuksen kehitystä ja projektin tuomia säästöjä seurattiin.

Tulokset saavutettiin aktivoimalla operaattoreita aiempaa parempiin suorituksiin ja keskustelemalla aiheen tärkeydestä avoimesti. Lisäksi koestajien roolin tärkeyttä painotettiin seinämävahvuuksien hallinnassa. Merkittävimmät tulokset saavutettiin koeajoilla ja omalla aktiivisuudella toimien tuotantolinjoilla operaattoreiden apuna. Koeajojen avulla useat tuotantoerät saatiin valmistettua tuoterakenteen mukaisiin mittoihin ja niiden avulla vältettiin eristemateriaalien ylimääräistä käyttöä.

Haasteena työssä oli saada kaikki tuotannon operaattorit ja koestajat mukaan toimintaan sekä saavutettujen tuloksien ylläpitäminen. Tämä ratkaistiin osin siten, että asiasta keskusteltiin useaan kertaan ja mahdollisimman usean operaattorin kanssa.

Toiseksi haasteeksi havaittiin, että joidenkin tuotteiden valmistaminen tuoterakenteen mukaisiin mittoihin vaikuttaa tuotteiden muihin ominaisuuksiin, kuten pinnanlaatuun, taivutettavuuteen ja kaapelin muotoon. Näiden tuotteiden kohdalla laatuorganisaation ja muun johdon olisi hyvä ottaa kantaa, mikä laadullinen taso

on vielä hyväksyttävää, ja tehdä tämän pohjalta mahdollisia muutoksia tuoterakenteisiin.

Opinnäytetyön aikana vähäisemmälle huomiolle jäi yrityksessä mcmk-linjaksi kutsuttu vaippauslinja, koska tämän linjan tuotteet poikkeavat merkittävästi muiden linjojen tuotteista. Lisäksi tällä linjalla valmistetaan määrällisesti useampia tuotteita kuin muilla linjoilla. Mcmk-linjan materiaalitehokkuutta voisi parantaa omana projektinaan. Projektin ensimmäinen vaihe voisi alkaa eristyslinjalta numero 1, josta suurin osa mcmk-linjalle tarkoitetuista eristetyistä johtimista valmistetaan.

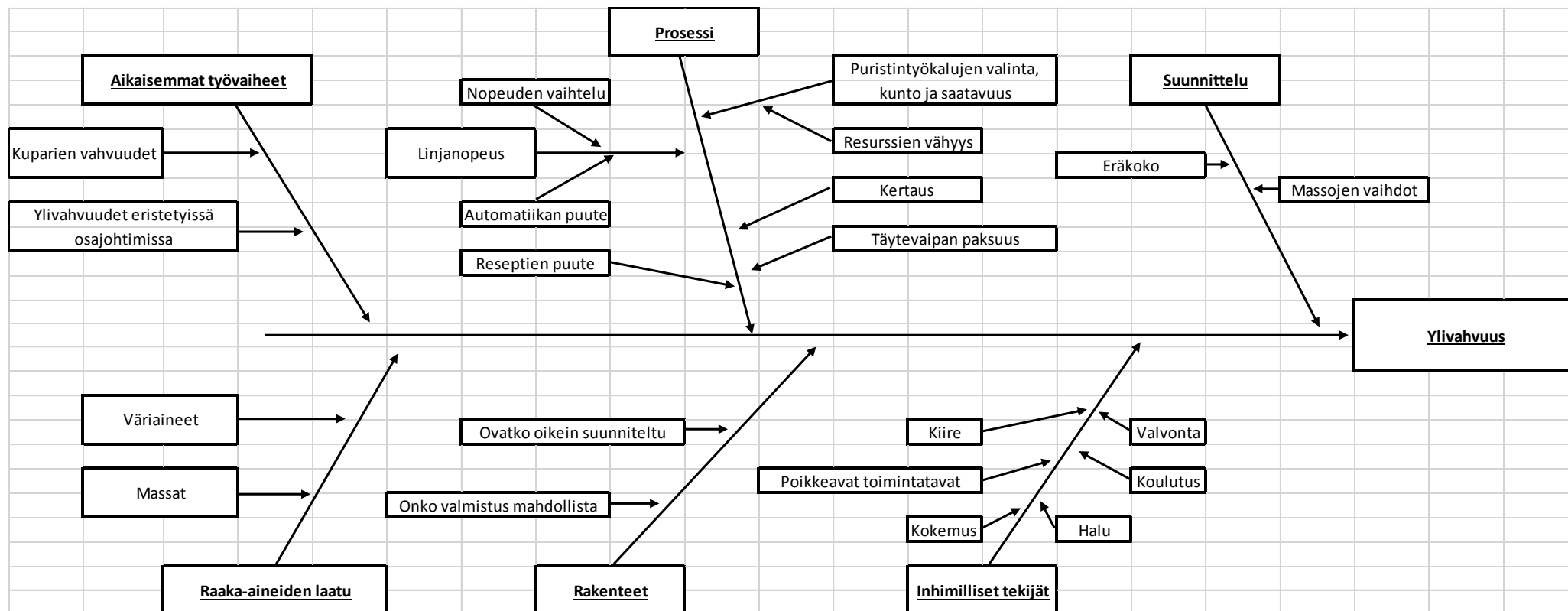
Mielestäni yrityksen olisi hyvä jatkaa projektia opinnäytetyön päätyttyä, koska materiaalikustannuksista löytyy paljon säästöpotentiaalia. Lisäksi toiminnan kautta on mahdollista havaita muita mielenkiintoisia ja kannattavia kehityskohteita.

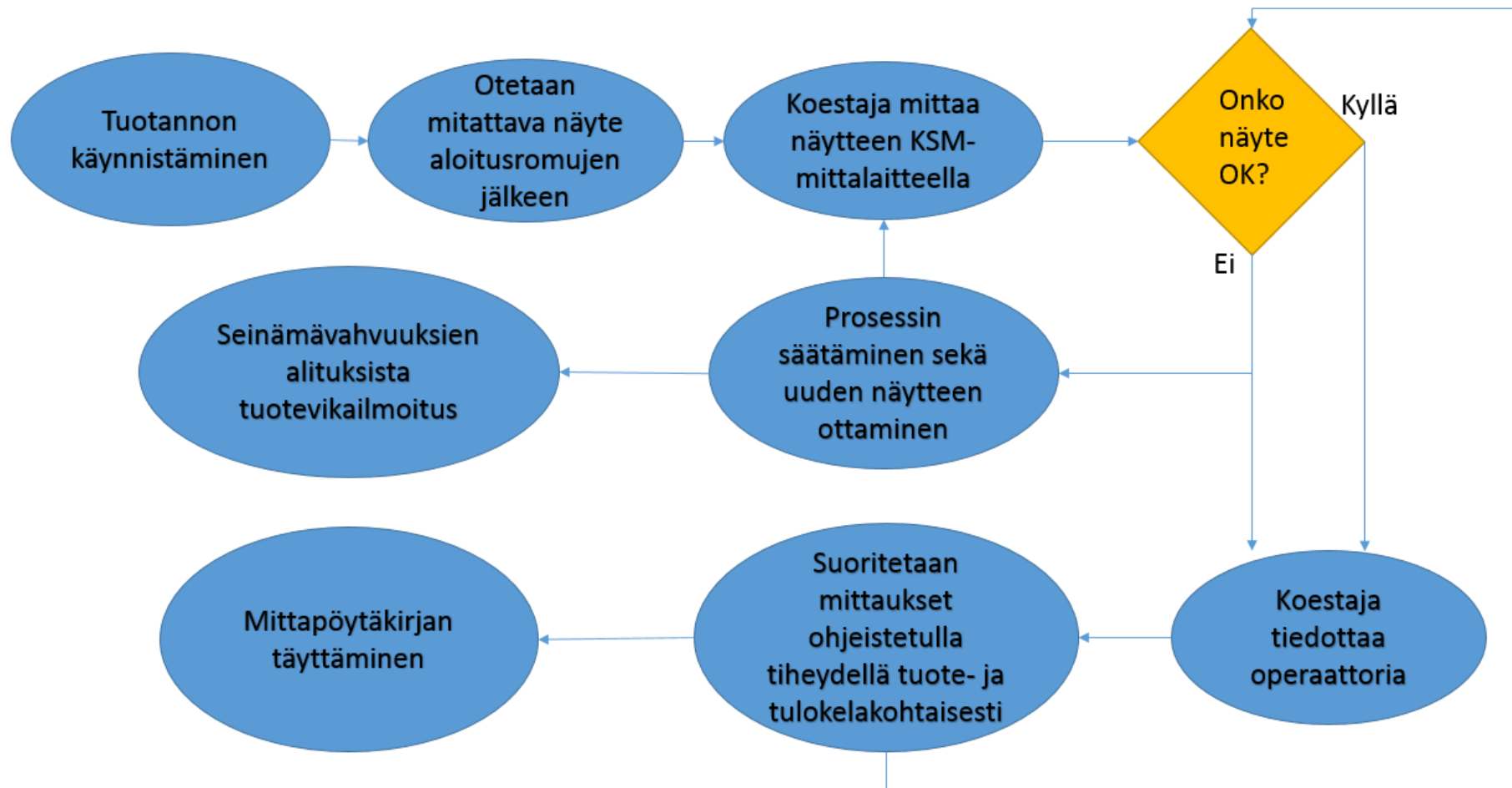
Työ oli mielenkiintoinen ja haastava, ja toivon, että yritys sai projektista tarvitsemansa hyödyn. Työ eteni pääpiirteittäin projektin alussa valmistetun aikataulun mukaisesti, ja mielestäni sisältö vastasi hyvin jo alussa sovittua ja rajattua toimintaa.

LÄHTEET

1. Prysmian Group. Saatavissa: <https://fi.prysmiangroup.com/> Hakupäivä 5.1.2018.
2. Kaapelikoulutus. 2017. PowerPoint-diasarja. Prysmian Group Finland Oy.
3. ML 450/750 V (H07V-U). 2013. Eristetty yksilankainen johdin. Prysmian Group. Saatavissa: https://fi.prysmiangroup.com/sites/default/files/business_markets/markets/downloads/datasheets/ML450_750_V.pdf. Hakupäivä 13.11.2017.
4. CPR-rakennustuoteasetus on nyt voimassa. 2017. Prysmian Group. Saatavissa: <https://fi.prysmiangroup.com/products-and-solutions/construction-and-infrastructures/power-and-control/construction-products-regulation>. Hakupäivä 15.11.2017.
5. Lecklin, Olli 2006. Laatu yrityksen menestyjänä. Hämeenlinna: Karisto Oy.
6. Andersson, Paul H. – Tikka, Heikki – Oksanen, Pasi 1997. Mittaus- ja laatu-tekniikat. Porvoo: WSOY.
7. Karjalainen, Eero 1999. Tuotteen ja prosessin optimointi koesuunnitelulla. Taguchi-menetelmä. Tampere: Tammer-Paino Oy.
8. Karjalainen, Eero – Karjalainen, Tanja 2008. Six Sigma. Uuden sukupolven johtamis- ja laatumenetelmä. Lahti: Aldus Oy.
9. Six Sigma: DMAIC Methodology. 2018. Villanova University. Saatavissa: <https://www.villanovau.com/resources/six-sigma/six-sigma-methodology-dmaic/#.Wjo2XGdIK70>. Hakupäivä 1.3.2018.
10. Pesonen, Herkko 2007. LAATUA! -asiantuntijaorganisaation laatuopas. Juva: WS Bookwell Oy.
11. Tekniikan kaavasto. 2013. Tampere: Tammertekniikka/ Amk-kustannus Oy.

12. KSM-mittalaite. 2015. ACM AB. Saatavissa: <http://www.acmab.com/ac-mmt/ksm.html>. Hakupäivä 14.11.2017.
13. ACM KSM -mittalaitteen käyttöohje. 1998. ACM AB.
14. Zumbach. ODEX® 10. Non-Contact Eccentricity, Concentricity and Diameter Gauge. 2016. Saatavissa: <http://www.auxiplast.com/wp-content/uploads/2016/10/zumbachodex10en.pdf>. Hakupäivä 13.12.2017.





Mittaja A

Näyte nro.	Mittaus nro 1.	Mittaus nro 2.	Mittaus nro 3.	KA	R
1	1,21	1,21	1,20	1,207	0,01
2	1,23	1,22	1,23	1,227	0,01
3	1,25	1,25	1,23	1,243	0,02
4	1,20	1,20	1,21	1,203	0,01
5	1,22	1,22	1,20	1,213	0,02
				1,219	0,014

Mittaja B

Näyte nro.	Mittaus nro 1.	Mittaus nro 2.	Mittaus nro 3.	KA	R
1	1,21	1,21	1,20	1,207	0,01
2	1,25	1,24	1,23	1,240	0,02
3	1,20	1,21	1,21	1,207	0,01
4	1,27	1,27	1,26	1,267	0,01
5	1,25	1,25	1,25	1,250	0,00
				1,234	0,010

Mittaja C

Näyte nro.	Mittaus nro 1.	Mittaus nro 2.	Mittaus nro 3.	KA	R
1	1,20	1,21	1,20	1,203	0,01
2	1,21	1,22	1,20	1,210	0,02
3	1,21	1,22	1,22	1,217	0,01
4	1,21	1,21	1,21	1,210	0,00
5	1,21	1,20	1,20	1,203	0,01
				1,209	0,010

Toistuvuus EV:

$$\bar{R} = (\bar{R}_A + \bar{R}_B + \bar{R}_C) / 3 \quad EV = \bar{R} * K_1$$

R 0,011333

K1 3,05

EV 0,034567 mm**Toistettavuus AV:**

$$AV = \sqrt{((\bar{X}_{ero} * K_2)^2 - (EV)^2 / (n * t))}$$

K2 2,70

n 5

t 3

X ero 0,025333

AV 0,067815 mm**R&R-testi:**

$$R\&R = \sqrt{((EV)^2 + (AV)^2)}$$

R&R 0,076117 mm